

文章编号:1673-8217(2012)03-0011-04

川西坳陷新场地区须家河组四段储层特征及评价

杨映涛¹,张世华¹,林小兵^{2,3},付菊¹,伍玲¹

(1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院,四川成都 610000;

2. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·成都理工大学;3. 成都理工大学沉积地质研究院)

摘要: 上三叠统须家河组四段是川西坳陷新场地区重要的含油气层段,根据岩心分析、岩石薄片、压汞、油气测试和分析化验等资料,对新场地区须四段砂岩储层特征进行了详细的研究,结果表明:该套储层以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主,成分成熟度较低-中等,结构成熟度中等;储层物性差,属低孔低渗-特低孔特低渗极度致密储层,储层非均质性强;储层孔隙结构差,以微孔隙为主。利用储层物性和孔隙结构参数,将须四上亚段、下亚段砂岩分别评价为4类储层,其中I、II类储层为相对优质储层,是增储上产的首选储层。

关键词: 新场地区;须四段;储层特征;储层评价

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

上三叠统须家河组四段是川西坳陷新场地区重要的含油气层段,其中须四上亚段主要发育曲流河三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂体;中亚段主要为前三角洲-滨浅湖沉积,砂体不发育;下亚段以辫状河三角洲相前缘水下分流河道、河口坝砂体为主^[1-3]。经过前人艰苦努力的工作,该区须四上、下亚段油气勘探取得了很大的进展,已被确定为增储上产的重要区块。截止到目前该区钻至、钻穿须四气藏的井共有47口,其中14口井测试获工业气流,均以低产井为主,这主要与须四段砂岩储层物性差、非均质性强有关,因此储层研究已成为该区油气勘探的核心问题之一^[4-5]。根据岩心分析、岩石薄片、压汞、油气测试和化验等资料,对研究区须四段砂岩储层特征进行了详细研究,并对主要储层段须四上、下亚段储层进行了分类评价,为研究区下一步的油气勘探奠定了基础。

1 储层特征

1.1 储层岩石学特征

根据1040块岩心薄片鉴定资料统计结果表明,研究区须四段砂岩储层岩性以岩屑砂岩为主(占36.69%),岩屑石英砂岩、钙屑砂岩次之(分别占30.73%、26.07%),少量石英砂岩、长石砂岩。但须四各个亚段砂岩岩性又有差别,上亚段以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主;中亚段以岩屑砂岩为主,钙屑砂岩次之;下亚段以岩屑石英砂岩和岩屑砂岩为主。

从碎屑组别来看,研究区须四段砂岩石英含量

低(平均55.96%),长石含量极低(平均0.72%),岩屑含量高(平均43.32%),成分成熟度低。但须四各个亚段情况又不相同,下亚段砂岩石英含量最高(平均67.8%),岩屑含量最低(平均31.61%),成分成熟度相对最高;上亚段次之,中亚段岩屑含量高(平均79.58%),几乎是上、下亚段的2.5倍,成分成熟度极低。

从岩屑成分来看,须四段砂岩储层岩屑以沉积岩岩屑为主,少量变质岩岩屑,极少量岩浆岩岩屑;填隙物主要都以胶结物为主,平均含量8%左右,杂基含量相对较少,平均2%左右。其中上、下亚段杂基含量相对较高(平均含量2.67%和3.33%),胶结物主要为方解石,少量硅质;而中亚段杂基含量低(平均0.84%),但方解石含量高达6.8%。

1.2 岩石结构特征

研究区须四段砂岩结构成熟度中等,砂岩主要以中粒为主,细粒、中细粒次之,少量中粗粒、粗粒等;颗粒分选以好为主,中等分选次之;颗粒磨圆度中等-较差,以次棱角状为主;胶结类型以孔隙式为主,孔隙-压结式和压结式次之,少量压结-孔隙式等;但须四各个亚段相比较而言,上、下亚段砂岩结构特征相似,而中亚段与上、下亚段砂岩结构特征稍

收稿日期:2011-08-18;改回日期:2011-11-04

作者简介:杨映涛,硕士,工程师,1983年生,2005年大学毕业,现主要从事石油地质方面的研究工作。

基金项目:国家自然科学基金项目(41002032),中国石化西南油气分公司科技专项“新场构造须家河组四段气藏描述”(10KJ-22)。

有不同。中亚段粗粒砂岩所占比例明显增多,且分选明显变差,以中等为主,但磨圆度变好,压结式胶结类型也明显变多,显示中亚段结构成熟度稍差。此外须四下亚段孔隙式胶结类型所占比例最大,压结式胶结类型所占比例最小,这也反映了下亚段砾岩对胶结作用的抑制作用。

1.3 储层物性特征

根据研究区须四段 1617 块岩心物性分析资料可知,须四段储层属于低孔低渗-特低孔特低渗极度致密储层,孔隙度平均值 6.21%,中值 6.65%,主要分布在 6%~9%;渗透率平均值 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值 $0.085 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布在 $(0.08 \sim 0.16) \times$

$10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其中上亚段储层物性整体比下亚段好,上亚段孔隙度平均值 6.49%,中值 6.85%,渗透率平均值 $0.19 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值 $0.085 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;下亚段孔隙度平均值 5.2%,中值 5.47%,渗透率平均值 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值 $0.092 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从新场地区须四上、下亚段储层孔-渗关系图(图 1)并结合钻井实践可知,须四上亚段除了少数裂缝样品的影响外,大部分样品孔渗关系较好,储层类型以孔隙型为主;而下亚段明显存在两类储层:孔隙型和微裂缝-孔隙型,孔隙型储层孔隙性较好,渗透性差,而微裂缝-孔隙型储层渗透性明显变好,孔隙性较差。

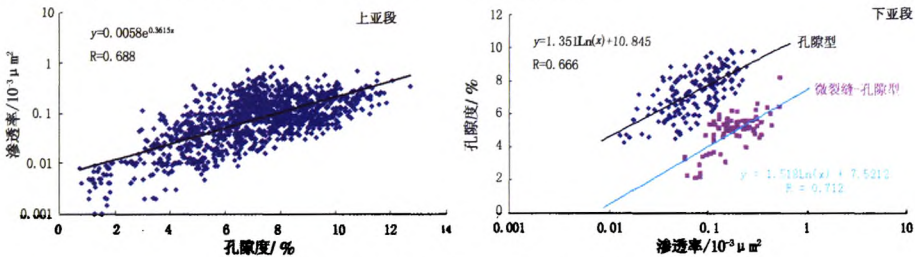


图 1 新场地区须四上、下亚段储层孔-渗关系

1.4 孔隙结构特征

新场地区须四段砂岩储层孔隙结构整体较差,样品排驱压力和中值压力值较高,最大孔喉半径和喉道中值半径普遍小于 1 m,表明储层喉道属微喉;样品孔隙均值系数值较大,亦表明储层孔喉半径小;

样品分选系数值较大,歪度值较小,偏细歪度,表明孔喉分选较差,且以微孔喉为主,但总的来说须四下亚段孔隙结构要稍优于上亚段(表 1),这也验证了须四下亚段砾岩对胶结、压实作用等破坏性成岩作用有一定的抑制,导致孔隙结构较好。

表 1 新场地区须四上、下亚段砂岩储层孔隙结构参数

层位	项目	排驱压力/ MPa	中值压力/ MPa	最大孔喉半径/ μm	中值半径/ μm	均质系数	分选系数	歪度系数	变异系数
须四上亚段	样品数	111	98	111	98	111	111	111	111
	最小值	0.45	3.094	0.09	0.0056	1.6	0.58	-2.47	0.044
	最大值	8.35	133.25	1.667	0.242	13.625	5.66	2.82	2.42
	平均值	2.69	34.62	0.439	0.039	9.74	3.01	1.04	0.376
	中值	1.87	28.84	0.4	0.0265	9.635	3.29	1.46	0.328
须四下亚段	样品数	53	49	53	49	53	53	52	53
	最小值	0.305	5.417	0.0634	0.0069	5.03	0.465	-1.664	0.034
	最大值	11.83	108.1	2.457	0.1384	13.83	5.88	1.874	1.129
	平均值	2.93	30.43	0.456	0.045	10	2.97	1.12	0.343
	中值	1.88	21.86	0.399	0.034	9.99	2.85	1.42	0.268

2 储层评价

2.1 储集下限

有效储集层物性下限研究是储层分类与评价的基础,求取储集层物性下限值的方法很多,如测试法、经验统计法、含油产状法、最小流动孔喉半径法、钻井液侵入法等^[6],但这些方法均有一定的局限性和适用范围。针对研究区须四段储层岩心物性分析

资料和压汞资料较多,本次采用经验统计法和最小流动孔喉半径法分别求取须四上、下亚段储层物性下限值。

2.1.1 须四上亚段

(1)经验统计法。本次利用新场地区须四上、下亚段常规物性分析资料,分别编制须四上、下亚段孔隙度、渗透率频率分布、累积频率以及累积能力丢失曲线,来确定储层物性下限值。从须四上亚段储层

孔隙度、渗透率累计能力丢失曲线来看(图2、图3):当渗透率为 $0.045 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储层累积产气能力丢失 5.6%, 样品丢失率为 28.6%。根据孔渗关系可知孔隙度下限值为 6.34%(图1), 相应储气能力丢失 19.3%, 孔隙度样品丢失率 29.9%, 可见在产气能力丢失不高的情况下, 储气能力丢失也不多, 因此可取孔隙度 6.34%、渗透率 $0.045 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 作为新场地区须四上亚段有效储层物性下限值。

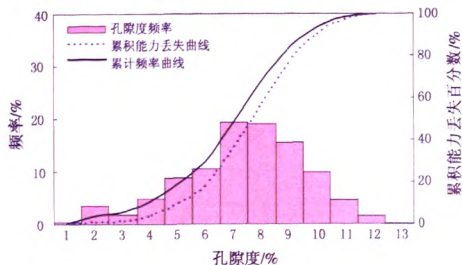


图2 新场地区须四上亚段储层孔隙度累计能力丢失曲线

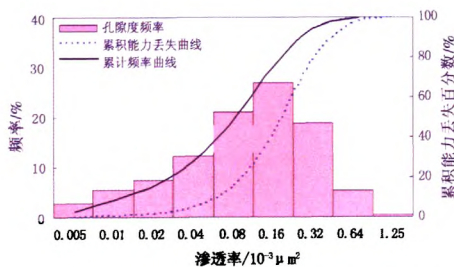


图3 新场地区须四上亚段储层渗透率累计能力丢失曲线

(2)最小流动孔喉半径法。最小流动孔喉半径既能储集油气又是油气渗流的最小孔隙通道, 确定了储层的最小流动孔喉半径后, 就可根据孔喉半径与常规物性参数的关系确定储层的物性下限^[6]。通过新场地区须四上亚段毛管压力资料求出平均毛管压力曲线, 再计算不同吼道半径区间的储层渗透能力及累计渗透能力, 当累积渗透率贡献值达到 99.99% 以上, 所对应的孔喉半径即为最小流动孔喉半径, 通过计算最小流动孔喉半径约为 $0.035 \mu\text{m}$ 。由渗透率与中值半径关系可知渗透率下限值为 $0.072 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图4), 综合经验统计法所求渗透率下限, 取渗透率下限值为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

综上所述, 最终确定新场地区须四上亚段储层储集下限为: 孔隙度 $\geq 6\%$, 渗透率 $\geq 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.1.2 须四下亚段

须四下亚段分孔隙型和微裂缝-孔隙型两类储

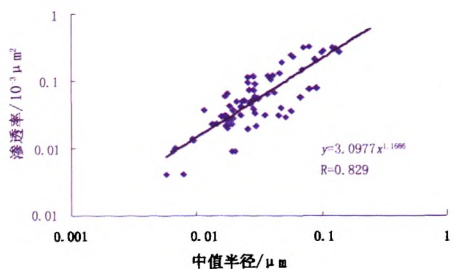


图4 新场地区须四上段储层渗透率与中值半径关系

层, 分别对这两类储层确定储集下限。根据经验统计法可知(图5、图6), 孔隙度 2.97% 和 6.79%、渗透率 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 可作为新场地区须四下亚段两类储层的有效储层物性下限值。

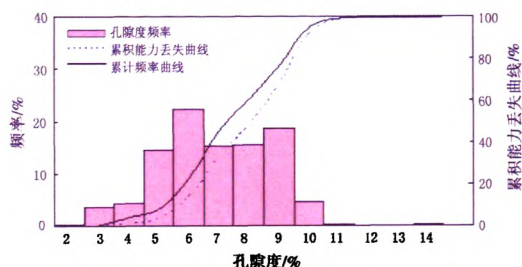


图5 新场地区须四下亚段砂岩储层孔隙度累计能力丢失曲线

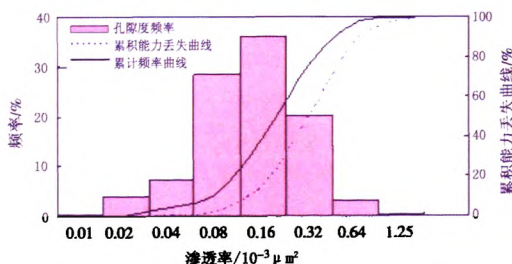


图6 新场地区须四下亚段砂岩储层渗透率累计能力丢失曲线

根据最小流动孔喉半径法计算最小流动孔喉半径约为 $0.038 \mu\text{m}$, 由渗透率与中值半径关系可知渗透率下限值为 $0.045 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图7), 综合经验统计法所求渗透率下限, 取渗透率下限值为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

综合经验统计法和最小流动孔喉半径法计算结果, 最终确定新场地区须四下亚段储层储集下限为: 孔隙型: 孔隙度 $\geq 6.5\%$, 渗透率 $\geq 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;

微裂缝-孔隙型: 孔隙度 $\geq 3\%$, 渗透率 $\geq 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

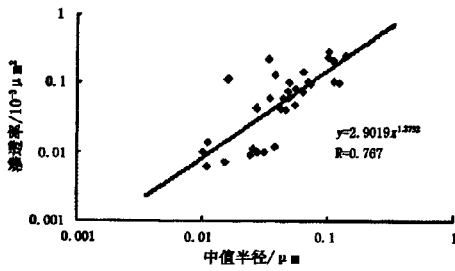


图7 新场地区须四下亚段储层渗透率与中值半径关系

2.2 储层分类

通过分析研究区储层物性与孔隙结构参数之间

的关系可知,储层物性与排驱压力和分选系数的关系较好,根据孔隙度与渗透率、渗透率与中值半径、孔隙度与排驱压力、孔隙度与分选系数的关系^[7-10],最终结合储层物性参数和孔隙结构参数将须四上、下亚段储层各分为四类,具体分类标准见表2和表3。

表2 新场地区须四上亚段储层分类评价

类	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	中值半径/μm	排驱压力/MPa	分选系数	评价
I	>10	>0.2	>0.1	<1	<3	好
II	8~10	0.1~0.2	0.06~0.10	0.7~2.0	2.7~3.6	中等
III	6~8	0.05~0.10	0.035~0.060	1~5	3~4	一般
IV	<6	<0.05	<0.035	>2	>3.8	非

表3 新场地区须四下亚段储层分类评价

类型	类别	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	中值半径/μm	排驱压力/MPa	分选系数	评价
孔隙型	I	>10.5	>0.2	>0.12	<1	<1.6	好
	II	8.5~10.5	0.1~0.2	0.075~0.120	0.75~2.50	0.8~2.2	中等
	III	6.5~8.5	0.05~0.10	0.038~0.075	1.1~4.0	1.1~2.6	一般
	IV	<6.5	<0.05	<0.038	>1.8	>2.3	非
微裂缝-孔隙型	I	>6	>0.35	>0.2	<1.5	<3.6	好
	II	4.5~6.0	0.15~0.35	0.1~0.2	0.5~1.8	2.2~4.0	中等
	III	3.0~4.5	0.05~0.15	0.038~0.100	0.7~3.0	3.0~4.5	一般
	IV	<3	<0.05	<0.038	>1.2	>3.3	非

3 结论

(1)新场地区须四段砂岩储层成分成熟度较低-中等,结构成熟度中等;储层物性差,属典型低孔低渗-特低孔特低渗极度致密储层;储层孔隙结构差,储层类型主要为孔隙型和微裂缝-孔隙型。

(2)利用岩心、压汞等资料,选用经验统计法和最小流动孔喉半径法分别求取须四上、下亚段孔隙型和微裂缝-孔隙型储层储集下限,其中上亚段储层储集下限为:孔隙度6%,渗透率0.05×10⁻³μm²;下亚段孔隙型储层储集下限为:孔隙度6.5%,渗透率0.05×10⁻³μm²;下亚段微裂缝-孔隙型储层储集下限为:孔隙度3%,渗透率0.05×10⁻³μm²。

(3)根据砂岩储层物性和孔隙结构参数将研究区须四上、下亚段砂岩分别评价为4类储层,其中I、II类储层为相对优质储层,是增储上产的首选储层。

参考文献

[1] 叶军,陈昭国.川西新场大型气田地质特征与预测关键技术[J].石油与天然气地质,2006,27(3):384-391.
 [2] 徐樟有,吴胜和,张小青,等.川西坳陷新场气田上三叠统须家河组须四段和须二段储集层成岩-储集相及其

成岩演化序列[J].古地理学报,2008,10(5):447-458.

[3] 刘建锋,彭军,张连进,等.川中-川南过渡带须家河组二段沉积相研究[J].断块油气田,2009,16(4):8-10.
 [4] 苏永进,唐跃刚,张世华,等.川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式[J].石油与天然气地质,2010,31(1):107-113.
 [5] 郑荣才,叶泰然,翟文亮,等.川西坳陷上三叠统须家河组砂体分布预测[J].石油与天然气地质,2008,29(3):405-441.
 [6] 郑锐,刘林玉,李南星.白狼城地区长2储层四性关系及有效厚度下限研究[J].石油地质与工程,2011,25(2):33-35.
 [7] 杨磊,张健飞,江喻.川东北地区须家河组砂岩储层特征[J].石油地质与工程,2010,24(5):9-12.
 [8] 胡明毅,李士祥,魏国齐,等.川西前陆盆地上三叠统须家河组致密砂岩储层评价[J].天然气地球科学,2006,17(4):456-458.
 [9] 张华英,黎华继,陈兰.孝泉-新场-丰谷地区须四储层储集条件分析[J].钻采工艺,2007,30(2):105-108.
 [10] 宋秋花,宋全友,陈刚强,等.高邮凹陷北斜坡阜宁组储层成岩作用特征[J].断块油气田,2009,16(4):20-22.

编辑:吴官生